

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : 2 648 589
(à utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 89 08003

⑤1 Int Cl⁸ : G 06 F 15/62; A 61 B 6/00; G 01 N 23/00.

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 16 juin 1989.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 51 du 21 décembre 1990.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : OMNES Yves. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Yves Omnes.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Bureau des Brevets et Inventions de la
Délégation Générale pour l'Armement.

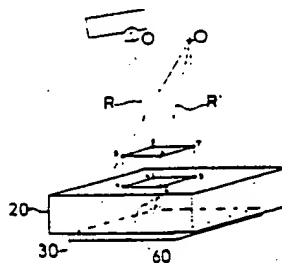
⑤4 Procédé de localisation précise et de quantification approchée en radiologie médicale ou industrielle, et moyens
pour la mise en œuvre du procédé.

⑤7 Le procédé de localisation et de quantification consiste,
dans un premier temps, à positionner entre la source O et le
récepteur 30, un cadre de contrôle 10 posé ou fixé sur la
pièce 20 à examiner. Ce cadre de contrôle 10 comporte des
points remarquables disposés tridimensionnellement, qui sont
impressionnés sur le film positionné dans le récepteur 30.

A partir de deux observations ou prises de vues distinctes,
on effectue sur le cliché, un relevé de coordonnées des points
remarquables du cadre de contrôle 10 et on détermine par le
calcul, le lieu de la source d'émission O puis les coordonnées
d'un éventuel point singulier observé sur l'objet 20, lesquelles
coordonnées correspondent à la plus petite distance séparant
les pseudo-rayons menés de la source d'émission O audit point
singulier.

Le processus de localisation est associé à un ensemble de
moyens comprenant un micro-ordinateur couplé à une table de
relevé de coordonnées et/ou de densité, des programmes de
calcul et des programmes de simulation, d'aide préalable au
relevé de restitution tridimensionnelle (localisation et/ou quan-
tification) et d'édition des résultats avec tracé graphique.

L'invention trouve son application dans le domaine industriel
et médical.



FR 2 648 589 - A1

BEST AVAILABLE COPY



La présente invention concerne la radiologie et en particulier les procédés de radiographie ou de radioscopie médicale et industrielle utilisant les générateurs à rayons X, les sources gamma, les sources neutron, les accélérateurs de particules. Elle concerne également la cinéradiographie et la radiographie éclair.

Les procédés de radiographie ou de radioscopie sont largement utilisés pour les diagnostics tant en médecine que dans l'industrie. La localisation des indications obtenues s'effectue généralement par une méthode d'exposition dite stéréo ou parallaxe par le biais d'une double exposition réalisée soit sur un même film, soit sur deux films distincts.

La localisation spatiale tridimensionnelle des indications obtenues en radiologie, est fréquemment exigée pour le diagnostic et on y parvient aujourd'hui de différentes manières par des appareils de positionnement spécialisés (système de stéréotaxie ...), outillage ou gabarit spécifique au cas de contrôle.

La vérification de la position relative source-objet effectivement obtenue lors des expositions est soit non effectuée, soit réalisée par des méthodes dont la précision de détermination est assez variable et dépendante, pour une large part du soin pris lors des expositions, et de la dextérité de l'opérateur. Il est encore assez fréquent de constater après coup, que la position de la source ne convenait pas au problème posé ce qui implique de nouvelles prises de vues et une perte de temps ou un détriment biologique supplémentaire.

Lors d'interventions sur sites, industriels notamment, les conditions d'environnement elles-mêmes peuvent altérer ou interdire la mise en oeuvre de ces méthodes de localisation, ce qui est préjudiciable parfois à la qualité du contrôle lui-même et par voie de conséquence à la sûreté du diagnostic qui sera posé.

Ces errements actuels induisent directement des limitations dans leur précision, pour ces méthodes de localisation tridimensionnelle de zones d'intérêt désignées



par l'interpréteur des images radio obtenues par parallaxe ou stéréographie.

En effet, le procédé de stéréographie sur film est bien connu ; toutefois, il impose de connaître exactement les positions relatives de l'objet et de la source radioactive, ou radiative, de rayonnement ionisant (X ou gamma). Les incertitudes de ces positions relatives agissent directement et de manière importante, sur la précision de la localisation. Cette contrainte de mise en oeuvre limite l'utilisation de la méthode, tant dans son emploi que dans sa précision finale.

En l'état actuel, ce procédé de stéréo radiographie est mis en oeuvre soit avec des équipements spécifiques généralement fixes, de précision métrologique, qui sont coûteux, soit à l'aide d'outillages gabarits dont l'utilisation est délicate, lente, tout en conférant une précision médiocre à la précision de la localisation. Les conditions d'environnement elles-mêmes peuvent dégrader la précision, par la difficulté de relevés géométriques des positions relatives précitées ou par un temps d'accès ou de séjour minimal dans les lieux d'investigation lorsqu'il s'agit de milieux hostiles.

Les procédés actuels exigent également un grand soin dans la préparation des expositions radiographiques, mais autant et surtout dans l'exploitation des clichés ou radiogrammes. En effet, le dépouillement de ces radiogrammes s'opère par des mesures dimensionnelles sur les films, puis par des calculs à partir de ces mesures. Cette pratique est plutôt lente et son résultat dépend dans une large proportion de la dextérité de l'opérateur. Cette lenteur peut restreindre l'emploi de la stéréographie, méthode qui est pourtant susceptible de fournir de précieux éléments d'appréciation avant une prise de décision.

Par ailleurs, la radiographie qui est une projection conique, ne donne qu'une image apparente des indications affectées du flou géométrique ainsi qu'un grandissement d'où est absente toute notion de troisième dimension. Pourtant cette troisième dimension est très



importante dans les diagnostics.

La présente invention a pour but de mettre à disposition des utilisateurs du domaine médical ou industriel, un ensemble de procédés, dispositifs, moyens de traitement d'images associés à des programmes et moyens de calcul qui permet d'apporter des gains de rapidité, de sûreté et de précision à la pratique du diagnostic radio. Ces moyens permettent de simplifier et de rendre plus facile et plus sûr le travail préparatoire précédant les prises de vues, de façon à éviter des expositions multiples.

L'invention propose un ensemble de moyens qui permettent la localisation avec une grande précision de la source de rayonnement ionisant pour chaque exposition ce qui permet ensuite, à partir d'au moins deux vues perspectives distinctes, de localiser par le calcul, d'une manière précise, tout point, zone ou indications choisies par l'interprétateur, lue sur le cliché ou sur écran de radioscopie. De plus, l'invention ouvre la possibilité de déterminer avec une bonne estimation, la troisième dimension de ces indications, c'est-à-dire selon un axe perpendiculaire au récepteur par intersection spatiale puis reconstruction tridimensionnelle, avec une précision égale voire meilleure que celle des tomographes à rayons X ou gamma. Cette dernière propriété de l'invention est particulièrement intéressante dans le cas d'analyses ou expertises sur les sites ou installations industrielles. Le domaine de l'invention couvre les applications correspondantes, à la fois dans le domaine médical et dans le domaine industriel, qu'il s'agisse d'utiliser la radiographie sur film ou la radioscopie sur écran.

L'invention permet d'associer, à la localisation de sources ionisantes, la quantification approchée en tridimensionnel, grâce à l'exploitation informatisée des valeurs de densité optique lue sur les récepteurs de rayonnement, film, écran ou autre. Cette quantification est possible grâce à la localisation des sources ionisantes et également grâce à l'utilisation de modèles semi-empiriques de propagation, qui sont ajustés à chaque expérience. Elle

- 4 -

peut encore être améliorée par des corrections du rayonnement secondaire ou diffusée à partir de données expérimentales et/ou de simulation numérique probabilistes.

5 L'utilisation de récepteurs films permet de faire l'acquisition des radiogrammes sur le site, industriel notamment, avec les moyens d'irradiation disponibles, tandis que le dépouillement sera effectué en laboratoire dans un délai plus ou moins long.

10 L'invention propose également l'intégration d'outils de simulation numérique de la géométrie de prises de vues, de prédiction des valeurs de densité optique, flou et grandissement géométrique, dans la projection conique, et d'estimation de la valeur, répartition spatiale du rayonnement secondaire ou diffusé. Ces outils de simulation
15 apportent manifestement une plus grande rapidité, efficacité et sûreté dans ces travaux ainsi qu'une économie de réalisation.

L'automatisation des tâches et les redondances, assurent une vitesse d'exécution et une qualité et une
20 reproductibilité des résultats dans les tâches de diagnostics, tant pour le contrôle de routine que pour celui de l'expertise.

La localisation en radioscopie télévisée est très rapide également et elle est applicable au contrôle de
25 production dans des domaines très variés : industrie du bois, métallurgie, électronique ... elle apporte des gains de qualité par un investissement rapidement amorti.

L'invention permet donc, globalement :
- de simuler numériquement au préalable, les prises de vues,
30 pour définir, vérifier ou optimiser, les positions relatives entre la source, le cadre de contrôle, l'objet à étudier et le récepteur de rayonnement ; la simulation numérique peut en plus, pour les corps homogènes, porter sur la prédiction des valeurs de densité optique, de flou et grandissement géométrique, ainsi que sur l'estimation prédictive en valeur
35 et la distribution spatiale du rayonnement secondaire ou diffus, nuisible à la quantification ; ces possibilités de simulation apportent des gains de rapidité, de sûreté et de



- 5 -

- précision à la pratique du diagnostic radio ;
- de simplifier, de rendre plus facile et plus sûr le travail préparatoire à la prise de vue, en évitant de devoir refaire une exposition pour différentes raisons ;
 - 5 - de prépositionner aisément la source radioactive par rapport au référentiel objet ;
 - de localiser en trois dimensions et avec précision, la position de la source de rayonnement par rapport à l'objet, à partir de la mesure des coordonnées images de points remarquables et connues du cadre de contrôle constituant le
 - 10 référentiel géométrique commun ; cette mesure étant suivie d'un calcul de relèvement spatial ; cette localisation est réalisée de façon semi-automatique ou automatique ;
 - de déterminer en tout point ou zone de la scène, dont on
 - 15 se donne les coordonnées, les valeurs effectives de flou et grandissement géométrique ;
 - de localiser en trois dimensions et avec précision tout point ou zone vue selon au moins deux orientations relatives distinctes ; le calcul et les corrections de flou et
 - 20 grandissement, peuvent être appliqués aux points ainsi localisés. En radioscopie télévisée ; la localisation est quasi immédiate, cette propriété est très intéressante dans de nombreuses applications ;
 - de fournir, quand cela est nécessaire une estimation de la
 - 25 quantification tridimensionnelle des points ou zones désignées par l'interpréteur des images radio ; cette quantification est plus aisée pour les corps homogènes, elle est plus ou moins affinée selon la résolution des matériels utilisés et la complexité des corrections apportées sur le
 - 30 rayonnement diffusé ;
 - d'associer éventuellement aux opérations précédentes, des traitements numériques d'images telles que rehaussement de contraste, filtrage ... ;
 - de déterminer les positions, volumes de toutes zones ou
 - 35 éléments discernables sur une image radiographique ou radioscopique ; des contrôles successifs peuvent fournir les déplacements dans l'espace de ces éléments, l'application à la cinéradiographie peut donner les trajectoires d'éléments



- 6 -

repérables sur différentes images.

L'ensemble constituant l'invention se veut être rapide, précis, automatisé, insensible à la dextérité des opérateurs ; il trouve sa place dans la panoplie des outils d'investigation, à un prix compétitif.

Selon l'invention, le procédé de localisation et de quantification consiste :

- à positionner dans la scène, c'est-à-dire entre la source de rayonnement et le récepteur, un cadre de contrôle ou outillage comportant des points remarquables disposés selon les trois dimensions, ledit outillage est associé à l'objet à contrôler, selon des coordonnées précises connues et il est destiné à être projeté sur le récepteur film ou écran selon le cas, sans gêner l'interprétation des zones utiles du récepteur qui reçoivent l'image de l'objet ;
- à effectuer au moins une observation ou prise de vue sous rayonnements ionisants ;
- à effectuer sur le ou les récepteurs, un relevé de coordonnées des projections des points remarquables de l'outillage tridimensionnel, et à déterminer par le calcul, à partir de ces points, le lieu de la source d'émission par rapport à l'objet à observer.

Selon une disposition préférentielle de l'invention, le procédé consiste :

- à effectuer au moins deux observations ou prises de vue sous rayonnements ionisants, à partir de deux positions distinctes au moins de la source d'émission radiative, positions qui sont distinctes par rapport à l'objet à observer ;
- à effectuer sur le ou les récepteurs, un relevé de coordonnées des projections des points remarquables du cadre de contrôle tridimensionnel ;
- à déterminer la localisation spatiale de tous points ou zones observés dans le volume de l'objet à examiner et vus sur au moins deux expositions relatives à deux orientations distinctes de la source de rayonnement, par rapport au cadre de contrôle, à l'objet à contrôler et au récepteur ; cette détermination s'effectuant au moyen de calculs



algorithmiques de minimisation de longueur de
perpendiculaires communes entre les pseudo rayons partant de
la source de rayonnement et passant par les points images
des zones observées, ceci pour chaque exposition ;

- 5 - et à déterminer, à partir de l'image apparente sur le
récepteur, les centres et dimensions de la zone observée,
compte-tenu de sa position spatiale dans la scène.

Selon une autre disposition de l'invention, le
procédé consiste à insérer, dans la scène, associée ou non à
10 l'outillage, une cale à gradins, ou indicateurs de qualité
d'images (IQI), de même nuance ou de nuance proche de celle
de l'objet à étudier, de façon à permettre un ajustement
semi empirique de la relation entre la densité optique et
l'épaisseur de la pièce traversée, puis à effectuer, sur le
15 récepteur film ou écran, un relevé de la densité optique en
tout point ou zone dudit récepteur au moyen d'un
densitomètre ou d'un micro densitomètre.

Selon une autre disposition de l'invention, le
procédé consiste à impressionner le récepteur, en
20 particulier un récepteur sous la forme de film, avec un
réseau d'étalonnage constitué de points d'espacement connu
constituant un moyen de contrôle et de prise en compte de la
déformation éventuelle du film entre son impression et
l'opération de relevé de coordonnées.

25 Toujours selon l'invention, le procédé consiste, à
partir de l'image radio sur un récepteur film ou écran de
radioscopie, à numériser cette image en valeur de niveau de
gris et à relever et saisir de manière semi automatique ou
automatique, grâce à un micro ordinateur associé portant des
30 programmes de traitement d'images, les coordonnées des
points remarquables de l'outillage, des points du réseau et
des zones d'intérêt portant les indications des défauts ou
autres inclus dans la pièce contrôlée. A l'issue de ces
relevés, le procédé consiste à effectuer par des moyens
25 informatiques, les traitements et calculs sur la base de ces
relevés et à localiser la source par relèvement spatial dans
le référentiel du cadre et à calculer, les flous et
grandissements géométriques des points de coordonnées donnés

- 8 -

à priori. L'image radio peut, après numérisation, être traitée numériquement par des filtrages, rehaussements de contrastes, recherche de contours.

5 Toujours selon l'invention, le procédé consiste en une détermination de la localisation spatiale de tous points ou zones vues sur au moins deux expositions relatives à deux orientations distinctes de la source, par rapport au cadre, à l'objet et au récepteur. Cette localisation résulte de l'association des points images conjugués ou homologues
10 d'une même zone de l'espace objet ; elle est réalisée automatiquement par des calculs algorithmiques de minimisation de longueur de perpendiculaire commune entre les pseudo rayons passant par la source et les points images, ceci pour chaque exposition.

15 Toujours selon l'invention, le procédé consiste à relever les valeurs de densité optique des images radio sur les récepteurs, simultanément à la numérisation de l'image, lorsque l'on recherche, pour les corps homogènes, la quantification tridimensionnelle des zones ou défauts. Ces valeurs
20 de densité optique sont destinées après auto étalonnage de la loi de propagation densité optique/épaisseur traversée, à donner une estimation de la troisième dimension des zones observées, dans la direction de propagation des photons dans l'exposition considérée.

25 Le procédé consiste également en l'application de traitements mathématiques pour déterminer à partir de l'image apparente sur le récepteur, les centres et dimensions de la zone étudiée, compte-tenu de sa position spatiale dans la scène. En particulier ce procédé est
30 intéressant dans le cas de grandissement direct dans la projection conique, très supérieure à l'unité. L'estimation quantifiée tridimensionnelle des zones ou défauts étudiés à partir de la localisation et de l'auto étalonnage en densité fait partie de l'invention.

35 Le procédé de radiographie et de radioscopie médicale ou industrielle selon l'invention, utilise d'une part, les générateurs à rayons X, les sources gamma, les sources neutron et les accélérateurs linéaires de particules



et d'autre part, quasiment tous les récepteurs usuellement employés (film, papier, xéroradiographie, amplificateur de brillance associé à un écran de scopie télévisée) et s'applique aussi au procédé de cinéradiographie et de radiographie éclair. Ce procédé ne modifie pas la pratique habituelle de la mise en oeuvre de ces moyens et ne nécessite, au moment de la prise de vue, que la disposition dans la scène à étudier, d'un cadre de contrôle élaboré. Le récepteur de rayonnements ionisants est de forme plane, cylindrique ou sphérique.

Le procédé de localisation et de quantification d'indications obtenues par radiologie selon l'invention peut consister tout d'abord en une préparation des prises de vues, par une opération de simulation numérique interactive. Il consiste à effectuer un prépositionnement de la source radiative associée ou remplacée par une source lumineuse ponctuelle au moyen d'un positionnement des ombres propres au cadre de contrôle sur lui-même.

Ce prépositionnement est rendu possible par une simulation numérique interactive préalable permettant de définir, de vérifier ou d'optimiser les positions relatives de la source, du cadre de contrôle, de l'objet à étudier et du récepteur de rayonnement. Cette simulation permet de vérifier par avance que l'on satisfait au cadrage de la scène, aux critères de flou géométrique et/ou de grandissement géométrique, et de vérifier que les dimensions du cadre de contrôle sont appropriées au problème posé. Cette simulation numérique interactive permet de prédire la précision de la localisation tridimensionnelle d'indications dans la scène à partir des configurations géométriques retenues et à partir d'au moins deux prises de vues sous des angles différents avec un recouvrement de l'objet.

Toujours selon l'invention, la phase préliminaire du procédé peut consister aussi, dans le cas d'une observation d'objets ou de corps homogènes, en une opération de simulation en vue de réaliser une prédiction des valeurs de densité optique, de flou et grandissement géométrique et de réaliser aussi une estimation prédictive en valeur et

distribution spatiale du rayonnement secondaire ou diffus nuisible à la quantification. Par cette simulation et à partir des positions relatives de la source, de l'objet, du récepteur, sélectionnées précédemment et à partir des caractéristiques géométriques et physiques de l'objet, on détermine en tous points du récepteur, la dose de rayonnement qui sera reçue pour une activité de source et un temps de pose donnés à priori.

Cette prédiction est en effet possible dans ces conditions car, pour chaque trajectoire de photon, on sait déterminer la distance totale parcourue entre la source et le point donné du récepteur (atténuation en $1/d^2$) ainsi que l'épaisseur traversée dans l'objet compte-tenu également de l'incidence des photons ; l'épaisseur traversée produisant une absorption des rayonnements selon une loi exponentielle.

La simulation fournit également, pour une variation autorisée de densité, un type de récepteur et une activité de source donnée, le temps de pose à prévoir. Si les critères de densité, variation de densité, ne peuvent pas être tenus, il faut alors rechercher de nouvelles configurations géométriques selon la simulation interactive pour les positions relatives de la source, du cadre de contrôle, de l'objet et du récepteur, et éventuellement pour la simulation interactive de prédiction de la localisation d'indication dans la scène.

Cette simulation est basée sur une loi de programmation qui prend en compte l'atténuation due à l'éloignement et l'absorption ; elle donne toutefois des estimations suffisantes dans bien des cas de figure.

Cette simulation peut être affinée par une prise en compte du rayonnement secondaire ou diffusée, ceci soit par des interpolations de valeurs expérimentales inscrites dans des fichiers numériques, soit par une estimation basée sur une méthode probabiliste du type Monté Carlo.

L'invention concerne également les moyens pour la mise en oeuvre du procédé de localisation et de quantification des indications obtenues par radiologie.



- Ces moyens consistent en un ensemble intégré, automatisé, rapide, sûr, et précis, basé sur l'utilisation conjuguée de dispositifs, de moyens de relevés de coordonnées et de densité, de moyens de traitement d'images,
- 5 de moyens et programmes de calcul, lequel ensemble permet :
- de simuler et d'optimiser les prises de vues ;
 - de simplifier et de rendre plus sûr, plus rapide le travail préparatoire à la prise de vue ;
 - de prépositionner la source de rayonnement par rapport à
 - 10 l'objet ;
 - de localiser avec précision la position spatiale de la source de rayonnement effectivement réalisée pour chaque exposition ;
 - d'effectuer les traitements numériques d'images radio,
 - 15 - de localiser avec précision, en trois dimensions, toutes zones ou indications désignées par l'interpréteur ;
 - de déterminer par contrôles successifs, le déplacement des marqueurs, points ou zones identifiables et caractéristiques sur les images radio ;
 - 20 - de fournir, quand cela est nécessaire une estimation de la quantification tridimensionnelle de ces zones ou indications repérées précédemment par l'interpréteur.

- L'ensemble compact selon l'invention comprend tout d'abord :
- 25 - des moyens d'émission de rayonnements X ou gamma ou autres ;
 - des moyens de réception de l'image, du type film ou écran ;
 - des moyens servant de référentiel, interposés entre la
 - 30 source d'émission et l'objet à contrôler, destinés à impressionner le récepteur.

- L'invention consiste également en un ensemble de moyens pour le dépouillement des images obtenues sur le récepteur, c'est-à-dire des moyens de relevé de coordonnées
- 35 et de densité, de traitement d'images et de calcul. Ces moyens comprennent un micro ordinateur couplé à une table de relevé de coordonnées et/ou de densité, à un traceur, à une imprimante et à un ensemble de programmes de calcul, de

- 12 -

simulation, d'aide aux relevés, de restitution tridimensionnelle (localisation et/ou quantification) et d'édition des résultats avec tracé graphique.

Toujours selon l'invention, les moyens particuliers pour la mise en oeuvre du procédé consistent en un outillage constitué d'un cadre tridimensionnel de contrôle évidé dans sa partie centrale et portant des petites billes métalliques dont le diamètre est un à quelques millimètres selon les cas, réparties sur le cadre et placées dans des positions relatives selon un schéma connu avec une grande précision ; ces billes sont faites d'un matériau dur et de nombre atomique élevé (tantale, tungstène, etc ...) alors que la structure du cadre est réalisée en un matériau "transparent" aux rayonnements, rigide et indéformable ; selon les énergies de rayonnement et/ou les précisions de localisation souhaitées, ce cadre est en plexiglass, en aluminium, titane ou alliage de ces métaux.

Toujours selon l'invention, le cadre comporte des moyens permettant sa fixation sur l'objet à étudier, ou dans une position fixe et connue par rapport à l'objet, comme par exemple des sangles, ventouses, pieds magnétiques ou organes de liaison mécaniques du genre vis, etc...

Selon une autre disposition préférentielle, le cadre tridimensionnel comporte des billes disposées à sa partie inférieure, de façon telle qu'elles servent d'appui sur l'objet à contrôler ; l'arrangement de ces billes sur le cadre, par exemple en carré ou en rectangle, assure un centrage automatique sur l'objet à observer, lorsqu'il est de forme cylindrique ou sphérique notamment ; ainsi, par construction, le cadre est positionné, et vice versa, par rapport à l'axe du cylindre ou à un rayon de la sphère ; cette propriété est exploitée pour la résolution mathématique des relèvements, localisations ...

Toujours selon l'invention, le cadre tridimensionnel comporte un plan de projection sur son embase inférieure ; ce plan est muni de graduations millimétriques exprimées dans le référentiel unique du cadre ; il est



destiné au prépositionnement de la source radioactive à laquelle est associée une source lumineuse quasi ponctuelle ; cette source lumineuse placée à la place future ou au voisinage de la source radio active projette les ombres des parties supérieures du cadre sur ledit plan de projection ; la position relative du plan de projection et des éléments supérieurs projetés étant connue, on déplace de proche en proche la source lumineuse jusqu'à obtenir des positions et/ou valeurs de projection prédites par un calcul préalable ou par le résultat de la simulation.

Toujours selon l'invention, le cadre tridimensionnel comporte des moyens de mesure unidimensionnelle de la distance entre la droite reliant les centres de deux billes en contact avec l'objet et l'objet lui-même, ces deux billes étant positionnées dans un même plan radial de l'objet ; ce moyen permet, lorsque le cadre est positionné sur l'objet à examiner, de déterminer les centres et rayons de courbure dudit objet, ce qui constituera des données supplémentaires dans la résolution de la localisation.

Selon une autre disposition, le cadre tridimensionnel, comporte, sur son embase inférieure, quasiment au contact avec l'objet à étudier, une cale à gradins de nuance et de caractéristique d'absorption photonique égale ou proche de celle dudit objet ; cette cale à gradins peut être également un indicateur de qualité d'image (IQI) de type normalisé AFNOR, DIN, destiné à l'ajustement de la loi de propagation densité par rapport à l'épaisseur traversée.

Toujours selon l'invention, le cadre tridimensionnel comporte des points remarquables servant à son positionnement sur l'objet à étudier et/ou au transfert de référentiel du cadre vers un autre système d'investigation ou d'intervention qu'il soit manuel ou automatisé ; ces points remarquables sont situés tridimensionnellement par rapport aux billes du cadre ; ils sont obtenus simplement par l'usinage de petits plans ou touches, dans la partie inférieure et/ou supérieure du cadre.

Les moyens pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention consistent encore en un réseau de points



- 14 -

destinés à permettre la correction des déformations éventuelles des films ou de distorsions de récepteurs (en radioscopie) ; ce réseau de points est réalisé sur le filtre antérieur ou sur l'écran renforceur antérieur ou sur la face d'entrée des rayonnements dans la cassette et consiste en de petits trous à section circulaire régulièrement répartis de façon connue. Dans le cas de technique double film, le réseau de trous peut être réalisé sur l'écran intermédiaire c'est-à-dire sur l'écran placé entre les deux films, ce qui évite de gêner en aucune manière, la lecture du film non impressionné par le réseau.

Toujours selon l'invention, ces moyens complémentaires consistent en une plaque d'alliage de cobalt, chrome, tungstène, nickel ou d'une plaque de cuivre revêtue d'un dépôt métallique approprié qui constitue les fonctions simultanées de filtre et d'écran ; une telle plaque appelée parfois écran mixte peut être obtenue dans des plaques d'alliage du commerce ; elle combine alors les propriétés physiques d'absorption de résistance mécanique et de stabilité géométrique qui sont nécessaires à la constitution d'un réseau de points de référence.

Toujours selon l'invention, le réseau de points de référence est disposé sur la face d'entrée du rayonnement dans la cassette ; ce réseau de points sur filtre ou écran ou sur face de cassette (constituant écran mixte) contribue à l'application du film sur ce réseau, au moyen d'une aspiration pneumatique. Selon une autre disposition, une face ou couvercle de la cassette, constituant écran mixte, peut être associée à une housse souple et étanche, externe à la cassette, délimitant ainsi une petite chambre dans laquelle on réalise le vide par une petite pompe auxiliaire. Le film placé dans la cassette se trouve ainsi appliqué sur le couvercle. Accessoirement, cette housse sert de protection pour la face d'entrée du film contre les marques, rayures ou injures mécaniques de toutes sortes de l'écran mixte, qui seraient visibles sur le radiogramme.

Toujours selon l'invention, pour la mise en oeuvre du procédé, les cassettes de films récepteurs sont



conformées aux géométries des objets à étudier c'est-à-dire qu'elles sont aménagées soit de façon classique plane, ou en portion de cylindre ou de calotte sphérique. Ces cassettes rigides peuvent être réalisées en différents matériaux ainsi
5 que les plaques constituant l'écran mixte disposé du côté de l'entrée des rayonnements.

L'invention comprend également des moyens pour le relevé de coordonnées X, Y sur récepteur film ou écran ou autre, et de relevé de la densité optique du film. ces
10 moyens sont constitués : - d'une caméra matricielle surfacique de 512/512 ou 1024/1024 pixels par exemple, dont le champ sur le film est d'environ 200 mm², fixée à un col de cygne, - d'une table à déplacement croisé XY, portant le film à examiner qui est placé entre deux plaques de verre,
15 - d'une source calibrée de lumière intense disposée en regard de la caméra, - et d'une source de lumière diffuse en dehors de la zone de la caméra. Le film est examiné par transparence, les images sont numérisées, stockées et traitées par un micro ordinateur.

20 Toujours selon l'invention, la table est du type à déplacement manuel ou semi-automatique par un "manche à balai" ou automatisée par une commande contrôlée par le micro ordinateur. Cette table peut comporter sur la plaque inférieure sur laquelle est posé le film, ou sur la plaque
25 supérieure, un réseau de points de table gravés sur le verre de petite dimension (environ 1 mm), (ou de cercles gravés), qui sont aisément reconnaissables sur l'image de la caméra. Le pas de ces points de réseau est de 10 mm au carré environ, soit 100 mm² d'aire de maille ; la position de tous
30 ces points dans un référentiel unique table est connue avec précision ; elle est enregistrée sur le micro ordinateur, de sorte que les relevés de coordonnées et aussi de densité se font dans un référentiel local propre à la maille considérée. Cette manière de faire par mesure différentielle
35 dans la maille exige une précision moindre des grands déplacements de la table, ce qui contribue à une réduction significative du coût de construction de la table ; toutefois ceci impose de procéder à une calibration poussée

de la caméra.

- L'invention sera encore illustrée à l'aide de la description des différents moyens, en association avec des dessins, donnés à titre indicatif, et dans lesquels :
- la figure 1 représente, de façon schématique, l'ensemble des moyens mis en oeuvre pour une prise de vue sur une pièce à contrôler ;
 - la figure 2 représente, de façon schématique, l'ensemble des moyens permettant l'exploitation des données résultant de la prise de vue ;
 - la figure 3 représente en perspective le cadre de contrôle selon l'invention ;
 - la figure 4 représente en détail le cadre de contrôle, en appui sur une surface cylindrique ;
 - la figure 5 représente une cassette porte-film selon l'invention ;
 - la figure 6 représente un réseau de points de référence, sur filtre ou écran ;
 - la figure 7 représente une image vue sur un film ou un écran de radioscopie.
 - la figure 8 illustre la préparation d'une prise de vue après simulation.

Les développements qui vont suivre ont trait principalement au cas de la radiographie sur film. Le cas de la radioscopie télévisée sera évoquée in fine.

Tels que représentés figure 1, de façon schématique, les moyens utilisés pour une prise de vue sont constitués d'une source de rayonnements ionisants 0 du type à rayons X par exemple portée par un bras, non représenté ou portable, selon les nécessités ; cette source 0 est positionnée au-dessus de la zone à inspecter sur une pièce 20 et l'image de la zone à inspecter est fixée sur un film disposé dans une cassette 30. On remarque, sur la figure 1, interposé entre la source 0 et la surface d'entrée des rayons X ou X sur la pièce 20, un outillage, ou cadre de contrôle 10, dont le rôle est de permettre la localisation

de la source 0, dans un premier temps, puis, la localisation des défauts constatés dans la pièce 20, au moyen de deux ou plusieurs prises de vue.

On a fait apparaître, sur la figure 2, les moyens
5 qui permettent d'exploiter le film 32 impressionné et développé et sur lequel on trouve en plus des indications recherchées par l'observateur, l'image du cadre de contrôle 10. L'ensemble de ces moyens d'exploitation est constitué d'une table de lecture 40 équipée pour réaliser une lecture
10 selon les coordonnées XY ; cette table de lecture 40 peut être asservie à un ordinateur 50 selon le mode de relevé des indications sur le film 32 ; la table 40 et l'ordinateur 50 peuvent être reliés à un écran 44 sur lequel est projetée l'image du film 32 et les résultats sont par exemple
15 exploités sur un listing sortant d'une imprimante 51 connectée audit ordinateur.

L'ensemble de ces éléments sera détaillé plus loin en liaison avec la partie du texte traitant de la lecture des clichés radiographiques.

20

Pour la réalisation de la prise de vue, on utilise un cadre de contrôle 10, ou outillage, portable, et une cassette 30 portant un film 32.

Pour la prise de vue on utilise l'un des moyens
25 d'irradiation disponibles dans la panoplie offerte. L'énergie de la source 0, son éloignement de l'objet, la mise en place du film 32, disposé dans sa cassette 30, se font selon les errements habituels de la technique radiographique. Toutefois on dispose dans la scène un
30 outillage 10 sur ou près de la surface 21 de l'objet à contrôler, située du côté de l'entrée des rayonnements. Le tout est disposé de sorte que dans la projection conique, l'outillage 10 soit visible sur le film 32. La position relative de la source 0 est relevée de manière approchée
35 dans un référentiel lié à l'objet 20 ou, ce qui revient au même, à l'outillage 10. L'outillage 10 est constitué d'une structure rigide et indéformable réalisée en matériau faiblement absorbant vis à vis des rayonnements ionisants,

- 18 -

donc de faible numéro atomique comme le plexiglass,
l'aluminium ou alliage d'aluminium, titane. Il comporte un
réseau de petites sphères calibrées, ici par exemple huit
billes repérées de 1 à 8, qui sont faites d'un matériau très
5 absorbant des rayonnements c'est-à-dire d'un numéro atomique
le plus élevé possible. Ces billes peuvent être réalisées en
matériau ou alliage du type tantale, tungstène, etc ... ;
elles ont un diamètre d'une fraction de mm voire de quelques
mm. Des billes de plomb ou d'acier sont utilisables mais
10 elles ont des caractéristiques moins intéressantes sur le
plan mécanique ou physique.

Elles sont réparties dans le volume du cadre 10 de
façon non coplanaire et leur nombre minimum est de sept. Il
est intéressant d'en prévoir plus si l'on veut donner de la
15 redondance à la solution. Un nombre de billes ou sphères
inférieur à sept est possible si la position du récepteur
par rapport au cadre est connue.

La position de ces billes entre elles est connue
avec une grande précision, de l'ordre du centième de mm. Ces
20 billes ne doivent pas être coplanaires, leur arrangement
peut être quelconque pourvu qu'il soit connu, sur le ou les
films les billes laissent sur le récepteur du rayonnement
des marques en forme d'ellipses d'allongement modéré.

La figure 3 montre en détail, un outillage 10
25 selon l'invention formant le cadre de contrôle, dont
l'allure générale est celle d'un cube ou plutôt d'un tronc
de pyramide. La partie centrale du cadre comporte, réparties
à chacun des angles d'un cube, des billes numérotées de 1 à
8. Les billes 1 à 4 sont disposées dans une embase 110 de
30 forme carrée ou rectangulaire comportant en son centre un
évidement 111 de forme carrée ou rectangulaire. Les billes 5
à 8 sont disposées sur une plaque supérieure 112 comportant,
en son centre, un évidement 113 identique à l'évidement 111
de l'embase 110. La plaque supérieure 112 est parallèle à
35 l'embase 110 et maintenue à distance de cette embase au moyen
de goussets 114 de forme triangulaire disposés selon les
diagonales de ladite embase 110. L'espace délimité par
l'embase 110, la plaque supérieure 112 et les arêtes

internes 115 des goussets 114, est nettement supérieur au volume du cube délimité par les huit billes 1 à 8, ceci pour éviter le masquage de ces billes et en particulier des billes 5 à 8 du niveau supérieur, par les goussets de liaison 114.

Les billes 1 à 8 peuvent être repérées au moyen de chiffres en plomb par exemple, collés à proximité.

De même, la surface des évidements 111 et 113, qui forment des fenêtres, est adaptée de façon à éviter de masquer, par la plaque supérieure 112 ou l'embase 110, la zone qui doit être observée sur l'objet à contrôler,

Cet outillage ou cadre de contrôle comporte par ailleurs des aménagements 116 permettant sa fixation provisoire sur l'objet à contrôler. Ces aménagements se présentent sous la forme d'anneaux qui sont disposés sur la bordure de l'embase 110 et qui peuvent recevoir des sangles de fixation, non représentées. On peut prévoir d'autres aménagements comme par exemple des ventouses ou des moyens de fixation magnétiques ou mécaniques comme des vis.

On remarque, sur l'embase 110 et la plaque 112, des surfaces remarquables 117 disposées dans les angles servant soit au calage du cadre par rapport à la pièce à contrôler 20, soit au transfert du référentiel cadre vers un autre équipement destiné à une autre action d'investigation ou d'intervention comme par exemple un automate programmé en commande numérique.

L'outillage comporte également des dispositions qui servent, comme il sera montré plus loin en liaison avec la figure 8, au réglage approximatif de la source de rayonnement par rapport au cadre constituant le référentiel de la scène. Elle consiste en des graduations 118, millimétriques ou autres, tracées sur l'embase 110 du cadre et sur lesquelles sont projetées les ombres lumineuses des contours de la plaque 112 située au-dessus de ladite embase 110 à des distances connues. Les valeurs à atteindre des projections, c'est-à-dire leurs coordonnées sur l'embase 110, résultent de la simulation dont il sera question plus loin. L'embase 110 du cadre peut également recevoir, avec un positionne-

- 20 -

ment précis, un tracé issu de ladite simulation. Ces ombres 112' de la plaque 112, visibles sur l'embase 110, figure 8, sont obtenues en plaçant, au voisinage ou à la place future de la source de radiation 0, une source ponctuelle de lumière visible. Par approches successives, on parvient à positionner la source radiative 0, dans l'espace, de sorte que les ombres projetées atteignent les valeurs prédites par un calcul préalable ou par la simulation numérique.

Les billes 1 à 4 servent également à positionner le cadre de contrôle 10 sur l'objet 20 à contrôler. Dans le cas d'une forme d'objet cylindrique, ces billes 1 à 4 orientent le cadre 10 parallèlement à l'axe du cylindre ; dans le cas d'une forme sphérique, ces billes 1 à 4 positionnent l'axe principal du cadre de contrôle 10 au centre de la sphère. L'outillage ou cadre 10 peut aussi être pourvu d'accessoires incorporés à son embase 110. On peut en effet incorporer un moyen de mesure unidimensionnelle de la distance ou flèche entre la droite passant par les centres de deux billes de l'embase 110, qui sont au contact de l'objet 20, et le point de contact dudit moyen avec ledit objet. Ce moyen de mesure est placé dans l'alignement des deux billes considérées et à une distance connue de chacune d'elles. On a représenté, figure 4, l'outillage disposé sur une portion de cylindre 20, avec les couples de billes 1-2 et 3-4 en contact avec des génératrices du cylindre. On remarque, sur cette figure 4 et sur la figure 3, la présence d'un comparateur mécanique 22 ou pied de profondeur, disposé entre les billes 2 et 3, et dont le rôle est de permettre une mesure destinée à déterminer, avec précision, le rayon et le centre de courbure de l'objet étudié, en l'occurrence la portion de cylindre 20 dans le référentiel du cadre.

Ce cadre 10 peut également comporter, incorporée dans son embase 110, une cale à gradins 23, de caractéristiques d'absorption photonique équivalentes à celles de l'objet examiné. Cette cale 23 étagée, est destinée à l'étalonnage de la relation qui existe entre la densité optique et l'épaisseur de la pièce traversée. Elle peut consister en un indicateur de qualité d'images (IQI)

- 21 -

industriel, de type normalisé AFNOR comme représenté, DIN ou autre.

Pour les prises de vues, on peut utiliser des cassettes 30 porte-film rigides ou souples. Les cassettes rigides sont à priori planes mais, selon les cas, on peut envisager des cassettes conformées selon l'allure de l'objet 20 à contrôler, c'est-à-dire conformées en forme de portions de cylindres ou de calottes sphériques par exemple.

Dans tous les cas il est nécessaire que les défauts de planéité et/ou de forme soient les plus réduits possibles pour une détermination précise des indications portées sur le film, et il faut que le récepteur, film, papier par exemple ou autres, soit en contact étroit avec la face de la cassette, du côté de l'entrée des rayonnements.

Les cassettes rigides sont de fabrication soignée et comportent des dispositions pour appliquer le film à l'intérieur par une pression uniforme d'un matériau souple et/ou par un système pneumatique à dépression. Les cassettes souples chargées et conditionnées sous vide conviennent également à ces travaux.

Dans l'industrie, les cassettes rigides sont fréquemment réalisées en aluminium ou alliage d'aluminium. Le film y est déposé ainsi que des filtres et/ou écrans antérieurs et écrans postérieurs dits de blocage. Parfois on utilise également une technique dite de double film dans laquelle on dispose dans la cassette un second film séparé du premier par un écran intermédiaire. Ces filtres et/ou écrans utilisés en cassettes peuvent être réalisés en plomb, cuivre, nickel ou alliage de cuivre nickel. Ils sont ainsi selon leur nature, plus ou moins faciles à conformer à une géométrie autre que plane ; c'est pourquoi en cassette souple, les films d'écrans de plomb sont les plus fréquemment usités.

La cassette contenant le premier film est positionnée du côté émergeant des rayonnements ; la cassette est en contact ou disposée aussi près que possible de l'objet à contrôler.

Après l'exposition du premier film, on procède à

l'exposition du second film en prenant soin de ne pas déplacer le cadre de contrôle 10 posé sur la pièce 20. Les coordonnées spatiales de la source 0 sont également relevées de manière approchée. La position du film 32 (plan, cylindre ou sphère) au moment de la prise de vue, est connue de manière approximative dans le référentiel lié au cadre de contrôle 10 ; l'épaisseur de la partie de la pièce 20 traversée par le rayonnement est notée et sa valeur peut dans certains cas être connue avec précision. Dans le cas contraire le cadre de contrôle 10 devra comporter un plus grand nombre de billes pour la résolution du problème.

Lorsque l'on recherche une très grande précision de localisation des indications, il faut alors tenir compte des déformations éventuelles du film 32 entre le moment de l'exposition et celui de l'analyse c'est-à-dire de la restitution des informations que l'on peut tirer du film.

On emploie dans ce cas un système de réseau de points placés juste en avant du film c'est-à-dire entre le film et la source 0. Les coordonnées de ces points de réseau sont connues avec précision et sont comparées avec les coordonnées de leur image laissée sur le film. Il est alors possible d'apporter par le calcul, une correction qui permet de compenser les éventuelles déformations.

D'une manière commode, comme représenté figure 6, ce réseau est constitué de quelques dizaines de points 35 qui seront répartis sur l'aire du film ; ces points 35 sont obtenus par gravage, marquage ou perçage d'une plaque mince métallique 31 dont l'épaisseur est de l'ordre de quelques fractions de millimètres, et qui est placée juste en avant du film.

Cette plaque de réseau peut correspondre à la face d'entrée de la cassette 30, comme représenté figure 5, ou consister, comme représenté figure 6, en un écran 31 ou filtre antérieur, lequel doit être placé aussi près que possible du film 32.

Les points 35 sont de la même façon obtenus par perçage de petits trous calibrés circulaires, dont le diamètre est de l'ordre de la fraction de mm. voire du mm.



- 23 -

sur cette face 31' de la cassette 30 ; ils procurent des images nettes circulaires de points de réseau, reconnaissables sur le film récepteur 32, et qui ainsi seront aptes à un traitement numérique d'images postérieurement.

5 Ce réseau doit être stable géométriquement ; on utilise de préférence une plaque jouant le rôle simultané de filtre et d'écran que l'on appelle parfois écran mixte ; cet écran est réalisé au moyen d'une plaque de cuivre sur
10 laquelle on a déposé ou non, une couche de matériau très absorbant, ou d'une plaque d'un alliage de cobalt, chrome, tungstène, nickel, existant comme tel dans le commerce. Par ces moyens on réalise un réseau de points de bonne qualité procurant une stabilité géométrique et des caractéristiques
15 de filtrage renforcement suffisantes.

Dans le cas de technique double film, la plaque de réseau peut jouer le rôle d'écran intermédiaire, ce qui laissera exempt de toute marque le film placé extérieurement dans le cas où l'on peut craindre que les points du réseau
20 gênent l'interprétation des radiogrammes ou clichés.

De plus on peut mettre à profit l'existence de ce réseau de points, quand il s'agit de petits trous calibrés, pour réaliser la fonction aspiration pneumatique du film 32 sur cet écran mixte 31 ou sur la face 31' de la cassette 30.

25 Une solution consiste à réaliser la cassette, ou au moins la face d'entrée du rayonnement, à partir de plaques d'alliage cobalt, chrome, tungstène, nickel précité, et d'y pratiquer le réseau de points 35 par un perçage de trous circulaires de coordonnées connues ; de recouvrir
30 cette face d'entrée 31' par une housse souple étanche 33. Cette housse 33 est destinée à constituer une petite chambre avec la face d'entrée, c'est-à-dire le couvercle 31' de la cassette, où l'on aspire l'air au moyen d'une petite pompe à vide auxiliaire, non représentée, de sorte que l'air contenu
35 dans la cassette est aspiré par les petits trous du réseau et que le film se trouve ainsi appliqué contre la face interne 31'. Accessoirement, la housse 33 sert de protection pour la face d'entrée contre les marques, rayures ou injures

mécaniques de l'écran mixte qui seraient visibles sur le récepteur, radiogramme ou autre.

L'ensemble de ces éléments est représenté figure 5, et l'on remarque, sur la cassette 30, la housse 33 qui enveloppe le couvercle 31' et qui comporte un orifice 34 relié aux moyens d'aspiration pneumatique, non représentés. Le couvercle 31 comporte le réseau de trous 35 qui permettent une aspiration et un placage du film 32 de façon notamment à mettre la surface sensible du film 32 en concordance avec la forme du couvercle 31' qui lui-même est conformé selon la surface de l'objet 20 à examiner.

Quelques points du réseau porteront dans leur voisinage immédiat des repères qui seront visibles sur l'image du récepteur, par exemple le radiogramme, de façon à rendre possible un balayage de l'image sur la table de relevé, lequel balayage est suivi par une recherche et lecture automatique des coordonnées des points 35 du réseau.

La forme des points du réseau peut ne pas être circulaire ; mais dans ce cas, le traitement automatique d'images sera plus compliqué compte-tenu de la qualité relativement médiocre de résolution de l'image radiographique.

Le développement des films 32 s'effectue sans précaution particulière. Il faut veiller à ne pas les déformer et en particulier à les manipuler avec les précautions usuelles et les stocker avec soin. On dispose ainsi d'un couple d'images de radiogrammes par exemple prêts pour le dépouillement.

Les deux expositions nécessaires pour la mise en oeuvre du procédé peuvent être effectuées sur le même film 32 ; cette possibilité permet d'obtenir une localisation convenable des indications mais rend plus difficile l'étude de la variation de la densité pour l'estimation de la troisième dimension. Par ailleurs on peut multiplier les expositions de films à trois, quatre, et plus si nécessaire, correspondant chacune à une position relative source par rapport à l'objet, qui soit différente, afin d'obtenir une redondance à la fois dans la localisation et dans l'estima-



tion de la troisième dimension. Pour les n expositions distinctes, associées chacune à un film donné, on note les coordonnées spatiales successives de la source 0.

La lecture des clichés radiographiques, ou radiogrammes, est une opération qui permet d'une part, le relevé de coordonnées et, d'autre part, le relevé des densités optiques.

On a représenté, figure 7, un exemple de cliché sur lequel on remarque la zone d'intérêt 60, l'impression de l'indicateur de qualité d'images 23, les points 35 du réseau d'étalonnage et l'empreinte des billes 1 à 8 dont la position, sur le cliché, est fonction de la position de la source d'émission 0.

Pour le relevé de coordonnées, les films 32 sont placés tour à tour sur un système de relevé de coordonnées XY ; les coordonnées à relever sont, pour chaque film :

- les coordonnées des centres d'images des billes 1 à 8 du cadre de contrôle ;
- les coordonnées des points 35 du réseau, quand on utilise le réseau ;
- les coordonnées des points d'intérêt ou zones 60 identifiées par l'interpréteur des radiogrammes.

Le système de relevé de coordonnées, représenté figure 2, se présente sous la forme d'une table 40 porte-film ; il possède une source lumineuse 41 pour permettre la lecture des films 32 ; il est couplé à un micro ordinateur 50 et il peut être de plusieurs types selon la précision recherchée, les quantités de clichés à traiter.

On peut en effet utiliser une table graphique lumineuse et une "souris" avec lampe ; l'opérateur pointe manuellement les points caractéristiques à relever.

On peut utiliser une table à digitaliser de coordonnées X, Y, sur laquelle table on dispose le film, entre deux plaques de verre ; sur ce type de table, deux solutions de déplacement sont possibles :

- a) le film 32 est fixe et un chariot se déplace au-dessus de ce dernier pour couvrir toute sa surface ; un éclairage est prévu par dessous le film sur toute sa surface ; le

déplacement du chariot est soit manuel, soit motorisé à commande manuelle par "manche à balai" et/ou à commande automatique par le micro ordinateur 50 ; le chariot porte une lampe ou un binoculaire pour le pointage et l'opérateur déclenche l'acquisition numérique des données lorsqu'il considère le pointage comme satisfaisant ;

b) le film 32 est disposé entre deux plaques de verre et se déplace sur une table à mouvement croisé selon les coordonnées X, Y, tandis que l'organe de pointage est fixe ; le déplacement de la table est comme décrit en a) précédemment, soit manuel, soit motorisé, à commande manuelle ou automatique ; un éclairage par dessous la table permet la lecture des films ; cet éclairage se décompose d'une part, en un éclairage sur quasiment toute la surface du film et, d'autre part, une source de lumière régulée au droit de la zone de relevé c'est-à-dire au droit de l'organe de pointage.

La vitesse et le confort d'exécution, la précision de l'opération de pointage, seront grandement améliorés par l'utilisation d'une caméra surfacique matricielle 42, de champ de vision faible (15 mm/15 mm par exemple), munie d'une optique avec grossissement de 10 à 20 par exemple. Cette caméra 42 peut être montée par l'intermédiaire d'un col de cygne 43 sur les tables 40 décrites ci-dessus aux repères a) et b).

Son image est alors renvoyée sur un écran vidéo 44 ; l'opération de pointage est ainsi facilitée. Il est nécessaire de mettre en oeuvre le déplacement relatif du film 32 par rapport à la caméra 42, avant de déclencher l'acquisition des données par le micro ordinateur 50.

Pour accroître la vitesse d'acquisition des données, il est possible d'améliorer l'installation par l'utilisation d'un écran graphique 45, sur lequel l'opérateur pointe les cibles à relever grâce à un crayon optique 46 ou système équivalent. On travaille alors dans deux référentiels : un référentiel d'ensemble sur le récepteur et un référentiel local sur l'écran, ce dernier étant lié à la caméra.

On peut également prévoir un traitement numérique de l'image pour rechercher les centroïdes des cercles, ou des anneaux ou des ellipses de faible allongement qui correspondent aux billes 1 à 8. En effet les images des billes 1 à 8 du cadre 10 sont contrastées, de couleur plus claire que le fond du film 32 et sont de forme circulaire ou elliptique. De même les images des points 35 du réseau se présentent sous la forme de petits cercles bien contrastés, plus foncés que le fond du film 32. Le traitement numérique d'images permet par ailleurs de s'affranchir du flou géométrique élevé affectant les billes les plus éloignées de la surface d'entrée du rayonnement c'est-à-dire les billes 5 à 8.

La caméra 42 est préalablement calibrée et la carte de traitement d'images est implantée sur le micro ordinateur 50. Le verre 47 du support de film peut comporter lui aussi un réseau de points 48 gravés. Ce réseau de points 48 de la table 40, au pas de 10 mm environ par exemple, est visible par la caméra matricielle 42 et ainsi, au moyen d'une calibration convenable de cette caméra, on peut réaliser sur la maille carrée observée de 10 mm, un référentiel local. Cette disposition constructive pour la table 42, exige une précision moindre de la mesure des grands déplacements dès lors que ce réseau de points 48 est stable et connu dans le référentiel table.

La séquence de mesure débute par le relevé de trois ou quatre points 35 de réseau du film 32, qui sont repérables, afin de détecter le référentiel film par rapport à la table de relevé 42, à partir duquel référentiel on peut effectuer en mode semi-automatique ou automatique, le relevé de tous les autres points 35 du réseau.

Cette séquence de mesure se poursuit par le relevé des centroïdes des ombres ou images des billes 1 à 8 du cadre de contrôle 10. Un référentiel film est construit sur trois ou quatre images de billes identifiées sur lesquelles est bâti le référentiel commun de la scène.

Les valeurs de coordonnées X, Y sont enregistrées au fur et à mesure dans des fichiers ; pour chaque film, on



- 26 -

réalise un fichier A pour le réseau des points 35, un fichier B pour les billes 1 à 8 du cadre de contrôle, chaque point de mesure est affecté d'un numéro d'étiquette identificateur.

5 La séquence de mesure se poursuit par le relevé des coordonnées des points singuliers 60, ou zones d'intérêt, repérés par l'interpréteur sur le film, comme représenté figure 7. L'identification et la délimitation du contour de chaque zone s'effectuent au moyen du stylo
10 optique 46 sur l'écran graphique 44. Cette délimitation peut être affinée par un traitement préalable d'images. Les coordonnées relevées sont alors celles du barycentre du contour ; elles sont enregistrées avec un numéro d'étiquette donné, stockées dans un troisième fichier C.

15 Le relevé des densités optiques n'est effectué que lorsqu'une quantification tridimensionnelle des zones ou indications repérées est recherchée. Cette mesure de densité intervient localement ; elle s'effectue de façon sélective au moyen d'un densitomètre ou d'un microdensitomètre.

20 Elle consiste en une mesure de l'atténuation entre deux flux lumineux entrant et sortant, selon une échelle logarithmique, et elle nécessite de disposer d'une source de lumière régulée et d'un capteur optique installé par exemple sur la table 40. Les phénomènes de diffusion de la lumière
25 peuvent nuire à la précision du relevé de densité.

Pour une quantification précise, on utilisera un microdensitomètre et on enregistrera numériquement les valeurs absolues des densités associées aux coordonnées de ces points relevés dans le film.

30 Pour une estimation de la troisième dimension plus sommaire, on peut opérer par une mesure de densité avec les moyens utilisés pour le relevé de coordonnées, c'est-à-dire au moyen d'une caméra matricielle 42, à bas niveau de lumière. Un collimateur peut éventuellement être disposé sur
35 l'optique de la caméra. Après avoir localisé et délimité la zone dans laquelle doit s'effectuer le relevé de densité, l'opérateur lance un programme automatique d'examen du film 32, procédant pas à pas, afin de sonder toute la zone



considérée dans plusieurs positions relatives film par rapport à la caméra. Cette manière permet de réaliser une moyenne par un calcul numérique, des valeurs de densité relevées dans chaque maille (quelques pixels) ; les effets
5 de diffusion de lumière sont ainsi mieux contenus et l'on réduit l'incertitude de la mesure due à la légère dispersion en sensibilité de la caméra matricielle 42.

La séquence de mesure débute par le relevé de la densité, avec réalisation d'une moyenne par compilation
10 numérique d'images dans des positions différentes de la caméra par rapport au film radiogramme. Ce relevé de la densité s'effectue dans des zones saines exemptes de défauts ou de discontinuité de géométrie qui risqueraient de produire des variations brusques de densité. Ces relevés
15 sont effectués selon le choix de l'opérateur, dans une vingtaine de points environ, répartis sur la surface du film.

La séquence de mesure se poursuit par la mesure de la densité sur les images des gradins de la cale à gradins
20 23 c'est-à-dire de l'indicateur de qualité d'image (IQI), et se continue par le relevé de la densité dans les zones d'intérêt 60, identifiées et délimitées par l'opérateur.

Le calcul du barycentre des zones d'intérêt peut être pondéré par un coefficient lié à la densité de chaque
25 maille élémentaire constitutive de ladite zone ; une maille étant constituée de quelques pixels.

Toutes les valeurs de densité sont inscrites dans un fichier D comportant également des numéros d'étiquette d'identification, correspondant aux coordonnées de centres de
30 maille.

Toutes les informations relevées sont traitées par des moyens informatiques de façon à pouvoir être représentées.

Ces traitements sont tous réalisés sur le même
35 micro ordinateur 50 ayant servi lors des opérations de saisie de coordonnées et autres.

Le premier traitement consiste à apporter des corrections pour compenser les déformations éventuelles du

film 32 entre le moment de l'exposition et le moment de la lecture en vue restitution des données, connaissant les coordonnées des points 35 de réseau, mesurées sur le réseau lui-même, c'est-à-dire l'écran 31, et celles de leur image relevée sur le film.

Le second traitement consiste, pour chaque film, à effectuer un relèvement spatial de façon à déterminer la position exacte de la source 0 pour la prise de clichés correspondants et à déterminer l'orientation du récepteur film 32.

Le référentiel est lié à l'outillage c'est-à-dire le cadre de contrôle et de préférence à l'embase 10 de cet outillage. Ce traitement consiste à rechercher le sommet d'un faisceau ou gerbe perspective, d'après la connaissance des positions relatives des billes 1 à 8 et des coordonnées de leur projection 62 sur les différents films 32. Le traitement s'effectue par exemple par un calcul itératif utilisant la méthode des moindres carrés ; les valeurs initiales dans ce mode de calcul sont les valeurs approchées relevées lors de l'acquisition. Après convergence du calcul itératif, déterminé sur un nombre d'itérations préalablement choisi ou sur une variation donnée de l'écart entre valeur quadratique moyenne de deux itérations successives, le calcul s'arrête. Les états de sortie sur un listing d'imprimante 51, donnent les valeurs de position de la source 0 ainsi que les résidus de ces calculs pour permettre une appréciation de la robustesse de la solution.

Le troisième traitement porte sur une triangulation spatiale, dans lequel il s'agit de déterminer la localisation tridimensionnelle de chacune des indications 60 identifiées par l'opérateur. La mise en concordance des indications disposées sur les deux films des prises de vue successives, relatives aux points 60, peut être effectuée manuellement ou en mode automatique. La recherche de l'intersection dans l'espace de deux, ou plus, pseudo rayons R , R' issus de la source 0 et qui passent par des points 60 de projection, dont on a mesuré les coordonnées est basée sur le calcul de la longueur de la perpendiculaire commune



aux deux pseudo rayons d'une même indication. Un programme informatique permet à ce stade, de représenter graphiquement la distribution tridimensionnelle des indications en vues isométriques ou en vues E, C, D, P-scan ... ainsi que de les éditer grâce à une imprimante 51 ou à un traceur graphique, non représenté, piloté par le micro ordinateur 50.

Le quatrième traitement consiste, à partir de la connaissance exacte de la position de la source 0 de radiation, pour chaque exposition, à déterminer le flou géométrique et le grandissement relatif à chaque point ou zone élémentaire préalablement localisée ou située sur la face d'entrée du rayonnement dans l'objet. Ce traitement est particulièrement intéressant dans le cas de grandissement direct très supérieur à l'unité, comme c'est le cas parfois avec des sources radiatives à micro foyer.

Ces mêmes traitements sont applicables aux zones d'indications 60 repérées par l'interpréteur et dont la localisation spatiale a été obtenue précédemment ; le flou et le grandissement de ces zones 60 sont déterminés en tenant compte de la position dans l'épaisseur de la pièce contrôlée, des indications enregistrées sur le film 32. Un traitement informatique peut alors être engagé pour corriger dimensionnellement, par transformation homothétique, l'image apparente des indications 60. De même un traitement d'images peut être enclenché pour réduire ou supprimer l'effet du flou géométrique (convolution, déconvolution).

La phase suivante du traitement n'est engagée par l'opérateur que lorsque l'estimation de la troisième dimension est recherchée. Elle présuppose certaines conditions inhérentes à l'objet. A partir de la connaissance précise de la source 0 pour un film 32 donné, les données géométriques et physiques de l'objet lui-même, des valeurs de densité mesurées dans des zones à densité constante et sur la zone de la cale à gradins 23, l'opérateur lance un programme de calcul afin de déterminer et d'ajuster la relation semi empirique d'exposition c'est-à-dire la relation, pour ce film examiné, qui permet de donner la densité en tous points d'après l'épaisseur effectivement

traversée, et la distance entre la source radiative 0 et tous points du récepteur et en particulier la zone 60 étudiée sur le film récepteur 32. Cette relation comporte des coefficients propres à la nature de l'objet observé, au type de film 32 employé, ainsi qu'aux écrans 31, filtres, conditions de développement. Le calcul de l'ajustement de ces coefficients se fait itérativement selon la méthode des moindres carrés. On obtient une sorte de loi de propagation, dans laquelle les effets du rayonnement secondaire ou diffusé, sont pris en compte de manière semi empirique. La vérification de l'accord de la loi de propagation ainsi obtenue, est faite dans les zones périphériques aux zones contenant les indications à étudier. On compare la valeur de densité fournie par les mesures avec celles issues de la prédiction par la relation de propagation. Cette pratique permet d'atteindre une précision meilleure que celle d'une loi purement théorique et permet de travailler en mode différentiel. L'édition de toutes ces valeurs mesurées ou calculées permet à l'opérateur de contrôler le process en cours d'exécution. Pour simplifier on pourra supposer que les indications 60 sur le radiogramme, sont de nature homogène, de caractéristiques d'absorption connues et confirmées par l'interpréteur. La correction des effets du rayonnement secondaire peut être réalisée sur les densités relevées dans les zones d'indication. Cette correction prend en compte la position dans l'épaisseur de ces indications 60 qui résulte de la localisation précédente. Pour une meilleure appréciation du rayonnement diffusé, une simulation numérique peut être entreprise par une méthode probabiliste, par exemple celle de Monte Carlo grâce au micro ordinateur 50. Cette simulation permet de mieux séparer les composantes primaires et secondaires ou diffusées du rayonnement, en vue de la quantification volumique des indications.

L'ultime phase du calcul est alors exécutée pour ajuster les gerbes perspectives propres à chaque indication 60 ; ce calcul est itératif et il est capable de donner des estimations convenables de la troisième dimension. Des



représentations imagées des indications sont reconstruites numériquement, ainsi que des vues scanner. Des courbes illustrant la variation de la densité sont établies ; elles indiquent les orientations principales des indications à partir desquelles on peut conforter le diagnostic.

Dans le cas d'une radioscopie télévisée, le récepteur des rayonnements X ou gamma n'est plus un film ; l'image de la projection conique apparaît sur un écran télévision. Ces images se prêtent directement à une numérisation, et, pour une exposition donnée, elles permettent d'effectuer une analyse identique dans sa démarche, à celle suivie pour la prise de vue sur film. Deux expositions successives peuvent être réalisées rapidement sous des angles différents et, par un calcul informatisé, la localisation tridimensionnelle est fournie de façon quasi immédiate. Le dimensionnement d'après l'étude de la variation de la densité est possible mais il n'atteint pas la précision obtenue sur les films.

On utilise un cadre de contrôle et, éventuellement, un réseau de points, un micro ordinateur portant les programmes de calcul pour le relèvement spatial de la source, le calcul des flou et grandissement, l'intersection spatiale et la localisation tridimensionnelle des indications, la simulation numérique de prédiction du rayonnement diffusé et, enfin, la quantification volumique.

Les images numérisées sont stockées en mémoire du micro ordinateur.

La simulation numérique est une opération optionnelle qui permet de vérifier par avance la validité des solutions envisagées, d'optimiser ces solutions et, de plus, cette simulation permet de préparer le dépouillement pour le rendre plus automatique et donc plus rapide et plus sûr.

Cette simulation peut porter sur différents aspects : la configuration géométrique seule ; - la configuration géométrique et la prédiction de densité

optique sur le récepteur, - enfin, la configuration géométrique plus prédiction de densité et prédiction du rayonnement diffusé.

a) Configuration géométrique -

5 Pour un récepteur donné c'est-à-dire un film 32, de type plan, cylindrique ou sphérique, et un objet de géométrie connue et de caractéristique d'absorption connue ou estimée, la simulation permet de rechercher des positions relatives entre la source 0, le cadre de contrôle 10, l'objet 20, ledit récepteur 32, qui répondent à des critères satisfaisants vis à vis du cadrage, du flou, du grandissement.

Elle est conduite grâce au micro ordinateur 50 qui exécute les programmes de calcul correspondant et qui
15 fournit une représentation sur l'écran graphique 40 associé au micro ordinateur. De manière interactive, l'opérateur peut simuler une modification de la position de source 0 et apprécier ses effets sur les paramètres géométriques de l'exposition ; de même la recherche des dimensions optimales du cadre de contrôle 10, peut être faite par la simulation.

20 Si plusieurs expositions de l'objet sont envisagées, elles sont tour à tour optimisées. La simulation peut se poursuivre par un calcul de triangulation spatiale de pseudo rayons passant par un point ou une zone à priori. Elle vise à donner une estimation de l'incertitude de la
25 localisation de ce point pour les géométries de prises de vues imaginées dans les deux ou plus, expositions, ainsi que pour une estimation à priori de l'erreur de mesure des coordonnées images sur le ou les récepteurs.

30 Si la détermination de la localisation n'est pas jugée satisfaisante, l'opérateur reprend les positions de source et/ou le nombre de prises de vues, jusqu'à obtenir des prédictions de résultats conformes à ceux attendus ou spécifiés.

35 Le calcul du flou géométrique précédent, est effectué pour une taille donnée de source, qui peut être modifiée à loisir.

b) Configuration géométrique et prédiction de densité



optique sur récepteur -

Les conditions géométriques des expositions ayant été définies précédemment, et connaissant les caractéristiques géométriques et physiques de l'objet, l'opérateur peut poursuivre la simulation pour prédire la valeur de la densité optique en tout point ou zone du récepteur ; en effet, il s'agit, pour tout parcours de photon, entre ce point du récepteur et la source, de calculer, d'une part, l'atténuation due à la distance et, d'autre part, due à l'absorption dans la traversée de l'objet. Pour un parcours de photon, on sait déterminer par des calculs géométriques, à la fois la distance et l'épaisseur traversée compte-tenu de l'incidence. Le modèle de propagation utilisé est paramétrique, ses coefficients sont ajustés au type de récepteur, s'il y a lieu de développement.

En réalité le calcul effectué est celui de la dose de rayonnement, c'est-à-dire le produit de l'activité de la source par le temps d'exposition, si l'activité ou débit de dose est donné, on détermine la densité au bout d'un temps de pose estimé. De même pour une plage de variation admise de la densité, pour une activité donnée de la source, pour un récepteur donné, la simulation fournit le temps de pose prévisionnel.

Le modèle de propagation-utilisé peut être simple, il fournira alors des prédictions approchées mais suffisantes dans bien des applications.

c) Configuration géométrique, plus prédiction de densité, plus prédiction du rayonnement diffusé -

Si l'on recherche des évaluations plus fines, on peut alors poursuivre la simulation ci-dessus par une évaluation du rayonnement secondaire ou diffusé, soit à partir de grandeurs expérimentales préalables, soit par une simulation de type probabiliste.

Toutes ces simulations sont conduites sur le même micro ordinateur 50 muni d'une console, d'un écran graphique 44, d'une table traçante 40 et d'une imprimante 51. Grâce au traceur couplé au micro ordinateur, on peut tracer sur papier la position prévisible des projections sur le



récepteur film 32 et notamment, des points remarquables 1 à 8 du cadre de contrôle 10 ; on peut aussi tracer des projections de points ou lignes connues de la plaque supérieure 112 du cadre 10 sur un plan lié à l'embase inférieure 110 de ce cadre. Ces traces serviront au prépositionnement de la source radiative 0, à l'aide d'une source lumineuse associée ; en effet ce tracé pourra être placé sur le cadre de contrôle lui-même pour guider le réglage de la source radiative ; les coordonnées des projections précédentes sont éditées et le tracé sur le plan de l'embase peut être manuel.

On a représenté, figure 8, un exemple de cadre 10 disposé sur une pièce cylindrique ou tubulaire 20. Le cadre 10 repose sur la surface extérieure 21 de la pièce 20, chevauchant la zone à contrôler qui est dans l'exemple représenté une zone d'assemblage de deux tronçons tubulaires au moyen d'un cordon de soudure. On a illustré, sur cette figure, le point 0 d'émission de la source radiative. Pour réaliser le prépositionnement de cette source radiative, le même point 0 correspond à une source lumineuse. Cette source lumineuse permet une projection de la plaque évidée 112 sur l'embase 110 du cadre 10 et, grâce aux graduations millimétriques 118 situées sur ladite embase 110, on réalise, par l'ombre 112' de la plaque 112, un positionnement choisi de la source radiative. On remarque encore, sur cette figure, l'emplacement du récepteur 30 en forme de cassette, qui épouse la forme de la pièce à contrôler c'est-à-dire qui présente une forme cylindrique.

Le procédé de localisation et de quantification rencontre de nombreuses applications tant dans le domaine industriel que dans le domaine médical.

A titre indicatif, dans le domaine industriel, on peut citer :

- le contrôle de compacité de matériau, avec localisation et quantification des défauts (moulage, soudage, forgeage, frittage ...) ;
- le contrôle de conformité de matériau ou de structure hétérogène, avec localisation des différents éléments (béton



- 17 -

- armé, matériaux composites, caoutchouc armé ...) ;
caractérisation d'inclusion exogène dans l'objet ;
- contrôle de métrologie tridimensionnelle sans contact,
dans des corps creux et/ou inaccessibles (milieu hostile,
5 nucléaire...) ;
- contrôle de position, de déplacement ou de trajectoire
d'éléments internes ou de fragments (tête de munition,
détonique ...) ;
- contrôle de variation de forme et/ou de volume d'objets
10 (réduction d'épaisseur de corrosion ...).

De la même façon, dans le domaine médical on peut
citer :

- les diagnostics pour localisation de parties inspectées ou
malades ;
15 - l'aide au réglage de positionnement précis des appareils
de thérapie utilisant des rayonnements ionisants ;
- l'aide à la médecine de traumatologie pour la localisation
d'inclusion exogène ;
- l'activité de prothèses diverses ;
20 - le suivi de trajectoire de marqueurs radioactifs
(autoradiographie ...) ;
- l'aide opératoire en chirurgie.



- REVENDEICATIONS -

- 1.- Procédé de localisation et de quantification
approchée des indications obtenues en radiologie médicale
ou industrielle, indications provenant d'un objet à
5 contrôler, soumis à une source d'émission radioactive et
dont l'image est impressionnée sur un film ou sur un écran,
caractérisé en ce qu'il consiste :
- à positionner dans la scène, c'est-à-dire entre la source
de rayonnement (0) et le récepteur (30), un cadre de
 - 10 contrôle (10) comportant des points remarquables disposés
tridimensionnellement ;
 - à associer ledit cadre de contrôle (10) à l'objet (20) à
contrôler, selon des coordonnées précises connues ;
 - à effectuer une observation ou prise de vue sous
 - 15 rayonnements ionisants ;
 - à effectuer sur le ou les récepteurs de l'image de l'objet
(20) à observer, un relevé de coordonnées des images des
points remarquables du cadre de contrôle (10) ;
 - et à déterminer par le calcul, à partir desdits points
 - 20 remarquables, le lieu de la source d'émission (0) par
rapport à l'objet (20) à observer.

- 2.- Procédé de localisation et de quantification
selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste :
- à effectuer au moins deux observations ou prises de vues
 - 25 sous rayonnements ionisants, à partir de deux positions
distinctes au moins de la source d'émission (0), positions
distinctes par rapport à l'objet (20) à observer ;
 - à effectuer sur le ou les récepteurs de l'image de l'objet
(20), un relevé de coordonnées des images des points
 - 30 remarquables (1 à 8) du cadre de contrôle (10) ;
 - à déterminer la localisation spatiale de tous points ou
zones observés dans le volume de l'objet examiné, vus sur
au moins deux expositions relatives à deux orientations
distinctes de la source d'émission (0), par rapport au cadre
 - 35 de contrôle (10), à l'objet à contrôler (20) et au récepteur
(30), au moyen de calculs algorithmiques de minimisation de
longueur de perpendiculaires communes entre les pseudo
rayons R , R' passant par la source d'émission (0) et les

- 29 -

points images (60), ceci pour chaque exposition, et à déterminer à partir de l'image apparente sur le récepteur (30), les centres et dimensions de la zone étudiée, compte-tenu de sa position spatiale dans la scène.

5 3.- Procédé de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il consiste à insérer dans la scène, associée au cadre de contrôle (10), une cale à gradins (23) ou indicateur de qualité d'images (IQI), de même nuance ou
10 de nuance proche de celle de l'objet (20) à étudier, de façon à permettre un ajustement semi-empirique de la relation entre la densité optique et l'épaisseur de la pièce traversée, puis à effectuer, sur le récepteur film ou écran, un relevé de la densité optique en tous points ou zones
15 dudit récepteur, au moyen d'un densitomètre ou d'un microdensitomètre.

 4.- Procédé de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il consiste à impressionner le récepteur film (32),
20 avec un réseau de points (35) d'espacement connu, constituant un moyen de contrôle et de prise en compte de la déformation éventuelle dudit film, entre son impression et l'opération de relevé de coordonnées.

 5.- Procédé de localisation et de quantification
25 selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il consiste, à partir de l'image radio sur un récepteur film (32) ou écran de radioscopie, à numériser cette image en valeur de niveau de gris et à relever les coordonnées des points remarquables du cadre de contrôle (10), des points (35) du
30 réseau d'étalonnage et des zones d'intérêt portant les indications des défauts ou autres, inclus dans la pièce et, à l'issue de ces relevés, à effectuer les traitements et calculs sur la base desdits relevés et à localiser la source d'émission (0) par relèvement spatial dans le référentiel du
35 cadre de contrôle (10), et à calculer les flou et grandissement géométrique des points de coordonnées donnés à priori.

 6.- Procédé de localisation et de quantification

selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il consiste à relever les valeurs de densité optique des images radio sur les récepteurs films ou écrans, en vue de donner, après autoétalonnage de la loi de propagation densité

- 5 optique/épaisseur traversée, une estimation de la troisième dimension des zones observées, dans la direction de propagation des photons dans l'exposition considérée.

- 7.- Procédé de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé
10 en ce qu'il consiste à préparer les prises de vues au moyen d'une opération de simulation numérique interactive préalable en vue de définir, de vérifier ou d'optimiser, les positions relatives de la source d'émission (0), du cadre de contrôle (10), de l'objet (20) à étudier et du récepteur (30)
15 de rayonnement, et/ou en vue de prédire la densité optique des images sur le récepteur.

- 8.- Procédé de localisation et de quantification selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer un prépositionnement de la source radiative (0)
20 associée ou remplacée par une source lumineuse ponctuelle, au moyen d'un positionnement des ombres propres au cadre de contrôle (10) sur lui-même.

- 9.- Dispositif de localisation et de quantification pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une
25 quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il est constitué d'un ensemble compact, transportable, comprenant :

- des moyens d'émission de rayonnements X ou gamma ou autres ;
- 30 - des moyens de réception (30) de l'image de l'objet (20) à observer, du type film ou écran ;
- des moyens (10) servant de référentiel, interposés entre la source d'émission (0) et l'objet (20) à contrôler, destinés à impressionner le film ou écran du récepteur (30).

- 35 10.- Dispositif de localisation et de quantification selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte un ensemble de dépouillement des images obtenues sur le récepteur (30), constitué de moyens (40) pour le



relevé de coordonnées et de densité des points singuliers et des zones d'intérêt (60) localisés dans la pièce à observer, des moyens de traitement d'images et des moyens de calcul (50) et d'impression (51).

5 11.- Dispositif de localisation et de quantification selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend un cadre de contrôle (10) ou outillage, constitué d'un ensemble de points remarquables en forme de petites billes métalliques repérées (1 à 8), réparties
10 tridimensionnellement selon un schéma connu ; ce cadre de contrôle est constitué d'une structure perméable ou transparente aux rayonnements ; les billes (1 à 8) sont réalisées en un matériau dur et de nombre atomique élevé de façon à impressionner le film ou l'écran du récepteur (30).

15 12.- Dispositif de localisation et de quantification selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il consiste en un cadre de contrôle (10) comportant des moyens permettant sa fixation sur l'objet (20) à étudier comme notamment des anneaux (16) coopérant avec des sangles, ou
20 encore des ventouses ou pieds magnétiques ou organes de liaison du genre vis.

13.- Dispositif de localisation et de quantification selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend un cadre de contrôle (10) comportant une embase
25 (110) munie de billes disposées à sa partie inférieure, arrangées en carré ou en rectangle pour procurer un centrage automatique dudit cadre sur l'objet (20) à observer lorsque celui-ci est de forme cylindrique ou sphérique notamment.

14.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend un cadre de contrôle (10) comportant une embase (110) sur laquelle sont aménagées des graduations (118) servant au positionnement de l'ombre
30 projetée par la plaque (112) supérieure dudit cadre, portant les billes (5 à 8).
35

15.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend un cadre de contrôle (10)

comportant des moyens de mesure unidimensionnelle, en forme de comparateur (22), disposé à mi-distance entre deux billes (2 et 3) en contact avec l'objet (20) à contrôler de façon à déterminer le centre et rayon de courbure dudit objet
5 qui constitue des données dans la résolution de la localisation.

16.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend un cadre de contrôle (10)
10 comportant, sur son embase inférieure (110), quasiment au contact avec l'objet (20) à étudier, une cale à gradins (23) de nuance et de caractéristiques d'absorption photonique égales ou proches de celles dudit objet.

17.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 11 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend un cadre de contrôle (10)
15 comportant des points remarquables (117) disposés aux angles de l'embase (110) et/ou de la plaque supérieure (112), constitués de petits plans ou touches obtenus par usinage et destinés à servir au positionnement dudit cadre de contrôle
20 (10) sur l'objet (20) à étudier et/ou au transfert de référentiel dudit cadre vers un autre système d'investigation ou d'intervention.

18.- Dispositif de localisation et de quantification pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une
25 quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'impression sur le récepteur (30) en forme de film (32), d'un réseau de points (35) en forme de trous calibrés, régulièrement répartis sur la surface d'une
30 plaque formant filtre ou écran.

19.- Dispositif de localisation et de quantification selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'il comprend un récepteur (30) en forme de cassette dont la face
d'entrée du rayonnement est en forme d'un écran (31') percé
35 de trous (35), lesquels trous coopèrent avec un système d'aspiration pneumatique constitué d'une enveloppe (33), permettant un placage du film (32) placé dans ladite cassette, sur ledit écran (31').



20.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 9 à 19, pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte un récepteur (30), en forme de cassette conformée selon la géométrie de l'objet (20) à étudier et notamment en forme de portion de cylindre ou de calotte sphérique.

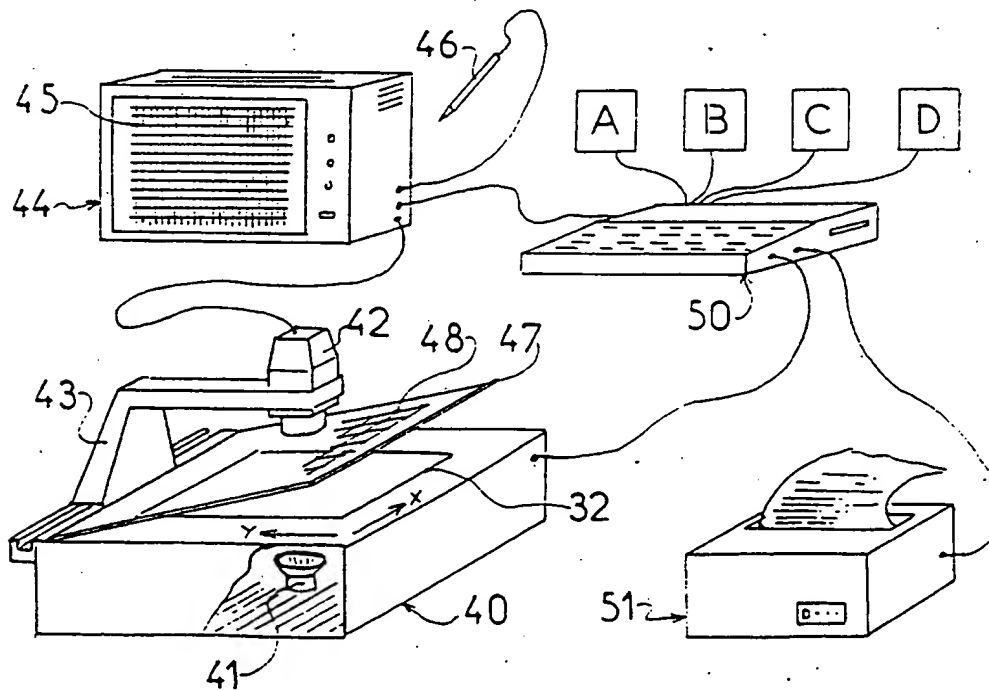
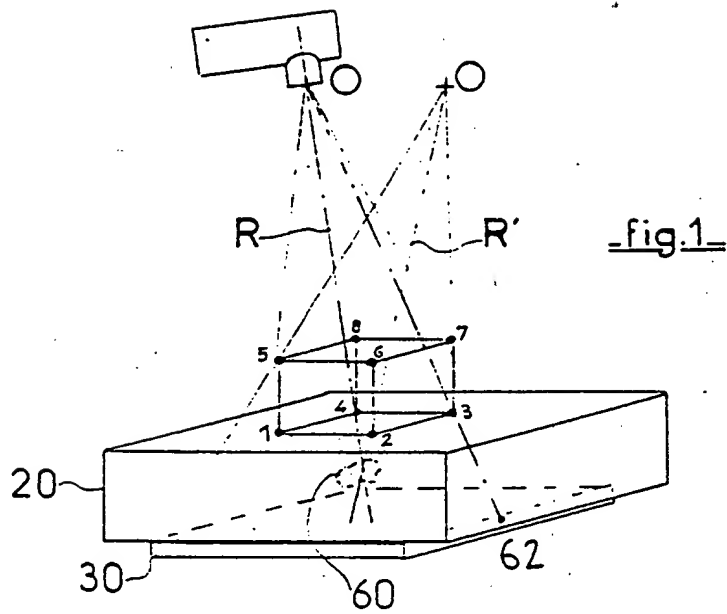
21.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 9 à 20, pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour le relevé, sur film ou écran, de coordonnées X Y, et des moyens de relevé de la densité optique, lesquels moyens sont constitués :

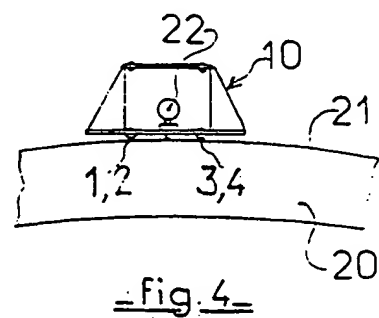
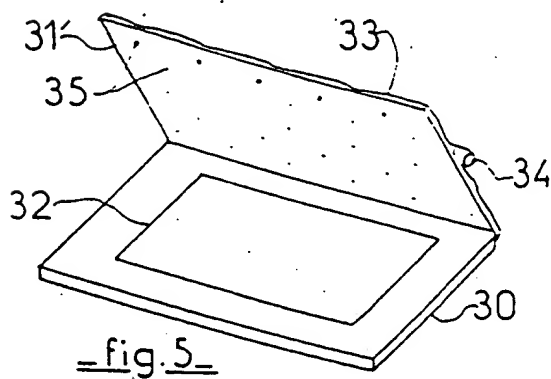
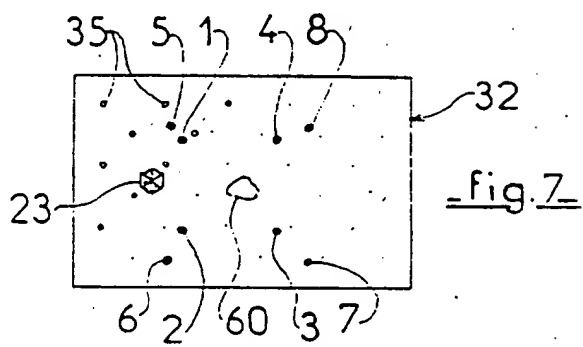
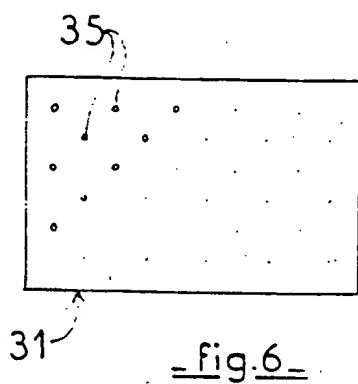
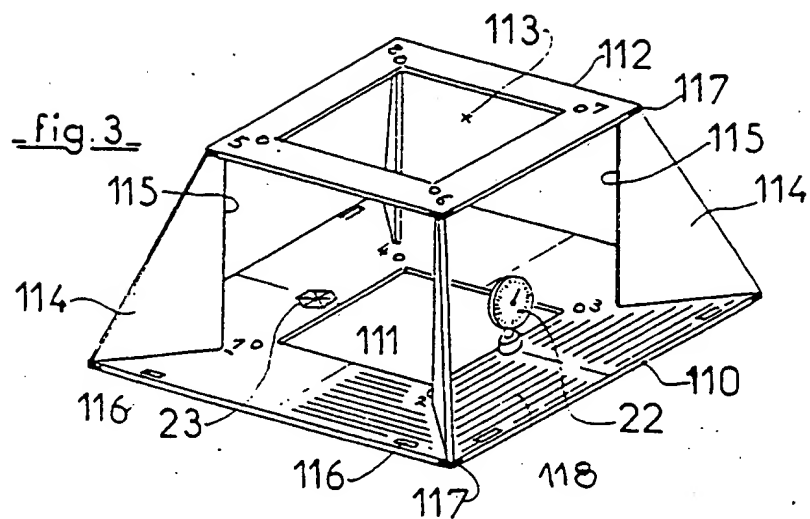
- d'une table (40) à déplacement croisé XY, portant le film (32) à examiner, - d'une caméra matricielle surfacique (42) fixée, au moyen d'un col de cygne (43) à ladite table (40), - une source calibrée de lumière intense (41) disposée en regard de la caméra et - d'une source de lumière diffuse en dehors de ladite caméra.

22.- Dispositif de localisation et de quantification selon la revendication 21, caractérisé en ce qu'il comprend, connecté à la table (40), un écran (44) permettant le repérage et la saisie par crayon optique (46) des points remarquables (1 à 8) et/ou des zones d'intérêt (60) impressionnées sur le film (32) et des moyens de saisie de ces données constitués d'un micro ordinateur (50).

23.- Dispositif de localisation et de quantification selon l'une quelconque des revendications 21 ou 22, caractérisé en ce qu'il comprend une table (40) de lecture des coordonnées XY comportant un réseau de points (48) gravés sur la plaque de verre (47), constituant un référentiel local propre reconnaissable sur l'image donnée par la caméra (42) ; le relevé de coordonnées s'effectue par ladite caméra dans une maille définie par quatre points (48) ; cette disposition constructive permettant d'avoir une précision moindre des grands déplacements de la table moyennant une calibration convenable de la caméra (42).







PL.3/3

2648589

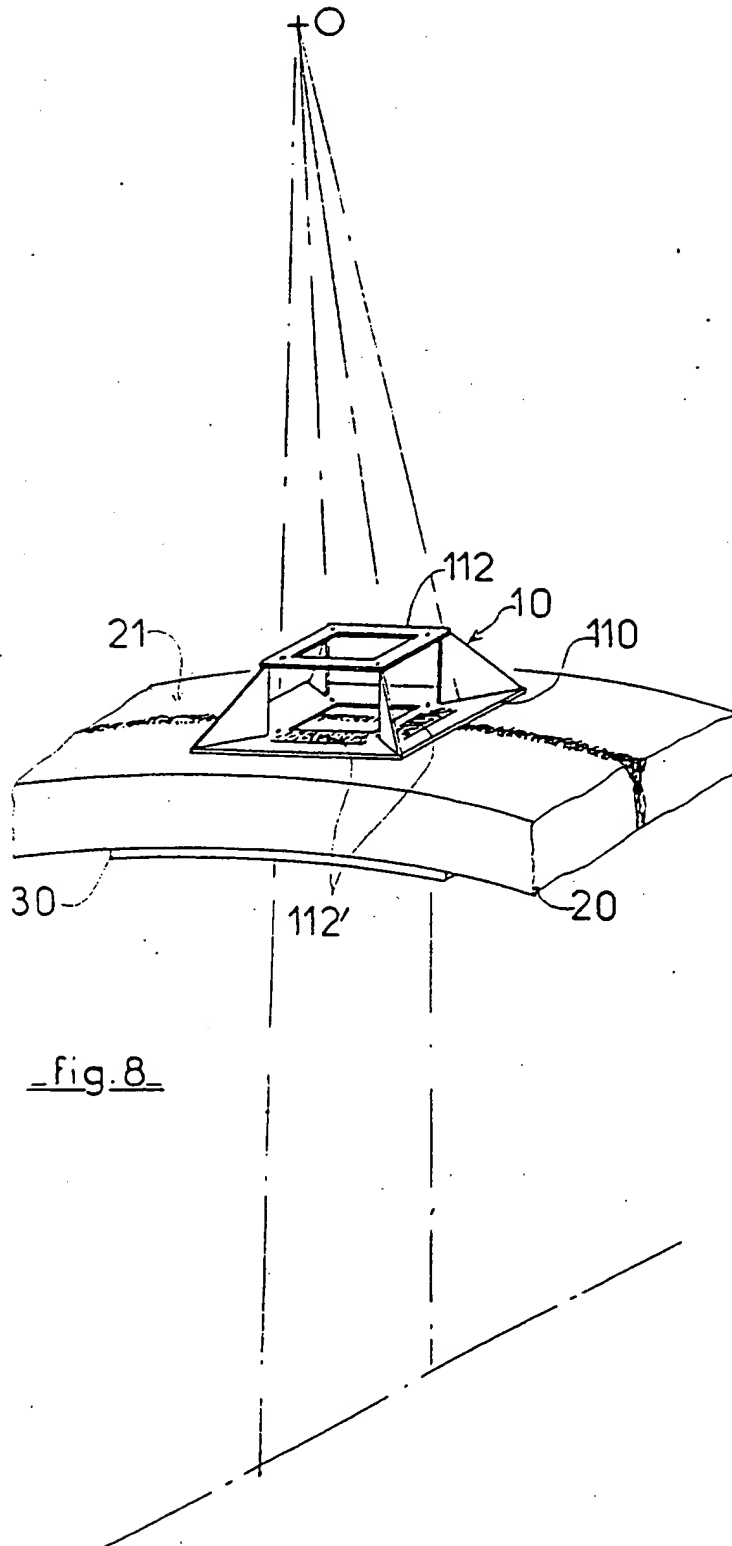


fig.8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.